## Astronomie et expérience

G. Paturel, Observatoire de Lyon

### Astronomie: science d'observation

#### POSITION

- Pas d'expérience possible sur l'objet (excepté depuis peu dans le système solaire)
- Observation à distance
- 3. Position particulière de l'observateur : toujours au centre du monde observé
- OUTIL
- Modèle physico-mathématique
- 2. Expérience limitée sur le modèle

### Programme: petit tour d'univers

- Nous examinerons les méfaits de notre position particulière, à travers quelques faits pris dans l'histoire de l'astronomie
- 1. Terre
- 2. Planètes
- 3. Galaxie
- 4. galaxies
- 5. Univers
- Nous essayerons de dégager les caractéristiques d'un bon modèle de description du monde et de répondre aux questions:
- 1. Comment valider ou invalider un modèle de représentation du monde ?
- 2. Plusieurs modèles peuvent-ils être équivalents?
- 3. Éventuellement, comment départager entre deux modèles équivalents ?

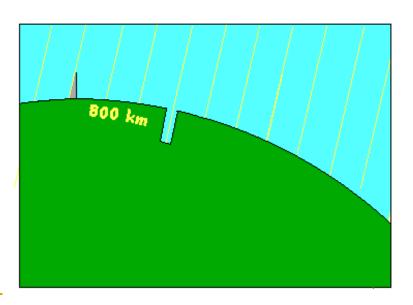
### Terre

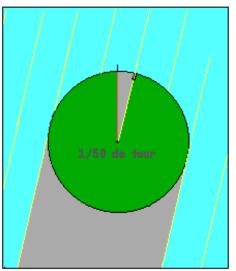
#### La Terre est-elle 'ronde'?

Ératosthène mesure son diamètre en -200.

#### IL FALLAIT DES PREUVES AVANT LA MESURE







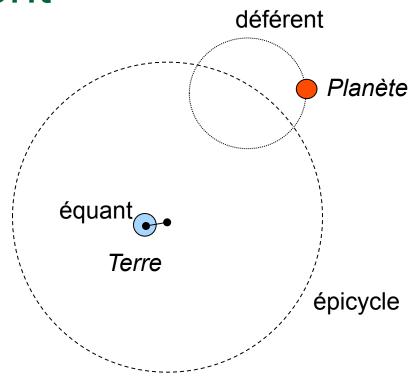
Dessin F. Berthomieu

## Planètes : Ptolémée (100-170), premier modèle

- Le ciel dans son ensemble (la sphère des fixes) tourne autour de la Terre. Les planètes, le Soleil, la Lune tournent autour de la Terre.
- Mais comment interpréter le mouvement rétrograde des planètes



Planètes : Interprétation du mouvement

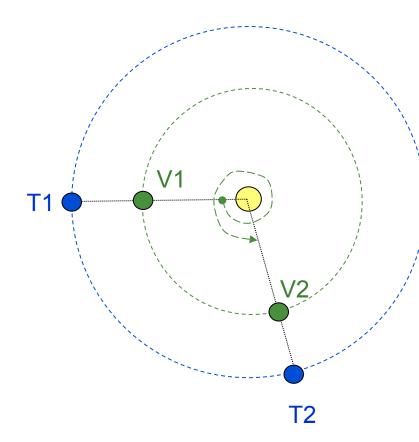


Ce système très complexe permet de prédire les positions des planètes. Il explique aussi l'absence apparente de parallaxes stellaires dont il faudra attendre le 19ème siècle pour obtenir la première mesure (Bessel, 1838))

### Planètes: Copernic (1473-1543)

- La lecture des textes anciens lui suggère que c'est le Soleil qui serait au centre du mouvement des planètes.
- Copernic publie timidement sont premier traité (Commentorialibus) puis, l'année de sa mort le de Revolutionibus.
- Son modèle pose un problème que Copernic résout : problème des périodes sidérales et synodiques

### Planètes: Période sidérale



T = période sidérale en années (terrestres)T' = période synodique en années

**La Terre** fait un tour en un an, donc elle fait T' tours en T' années.  $n_T$ =T'

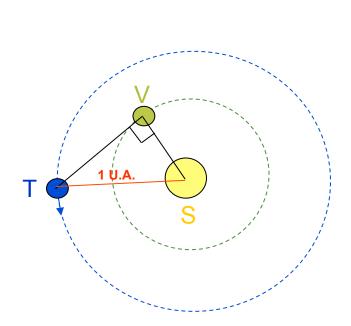
Une autre planète fait un tour en T années, donc T'/T tours en T' années. n=T'/T Pour une planète inférieure n=n<sub>T</sub>+1

$$T'+1 = \frac{T'}{T} \implies \frac{1}{T} = 1 + \frac{1}{T'}$$

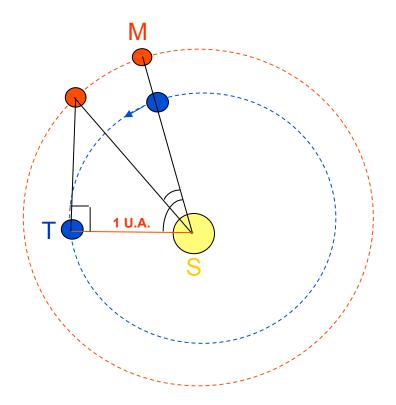
Pour une planète supérieure on a de manière similaire  $n=n_T-1$ , d'où :

$$\frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{T'}$$

## Planètes : Calcul des rayons



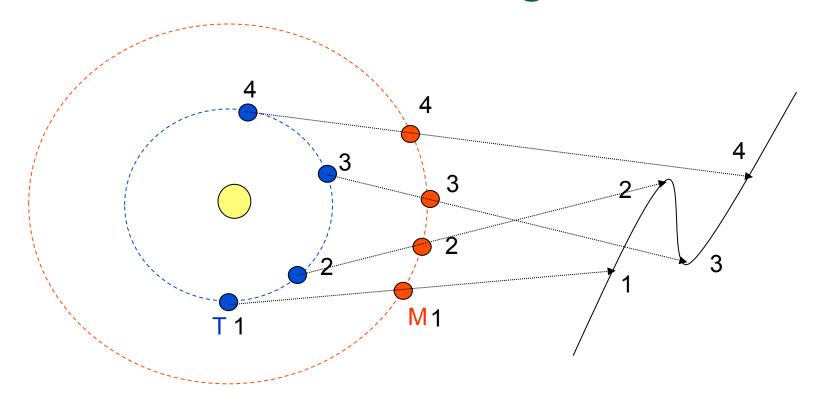
Planète inférieure (ex. : élongation maximum de Vénus)



Planète supérieure (ex. : conjonction + quadrature de Mars)

Képler (1571-1630) utilisera les observations de Tycho brahé pour perfectionner le modèle de Copernic

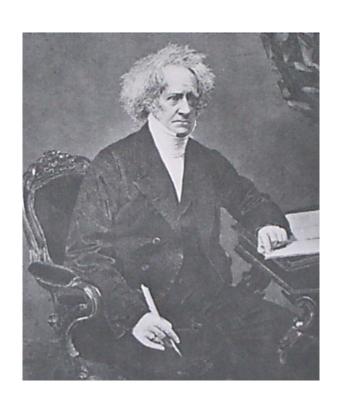
### Planètes: Les rétrogradations

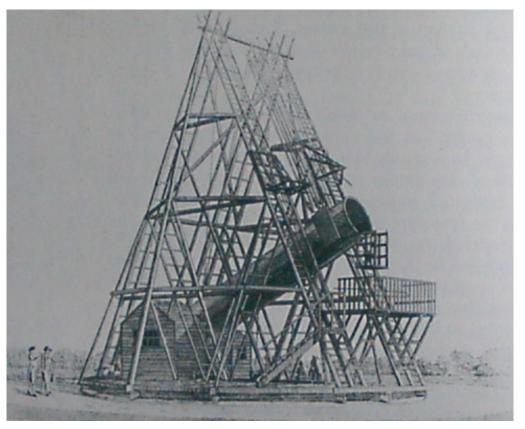


Plus besoin des cercles déférents, c'est la trajectoire même de la Terre qui produit l'effet.

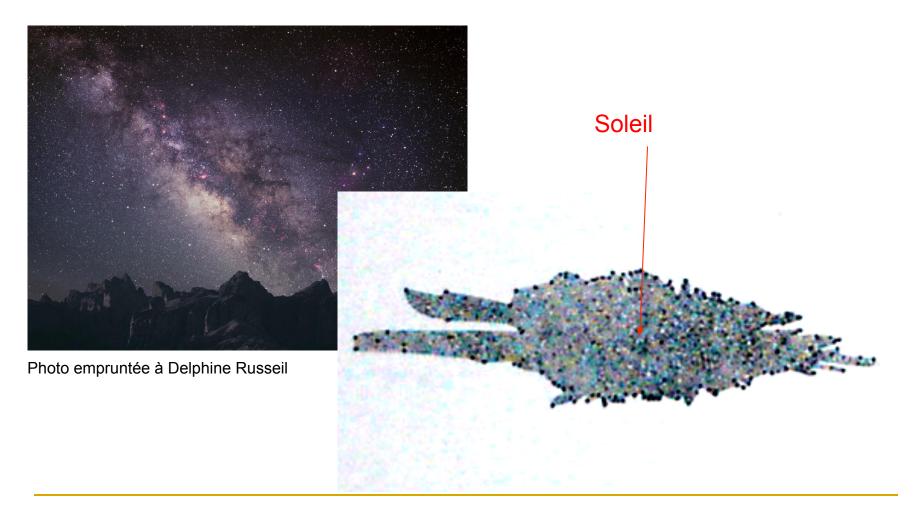
IL FALLAIT SE PLACER DANS LE BON REFERENTIEL

# Galaxie: William Herschel (1738-1822)

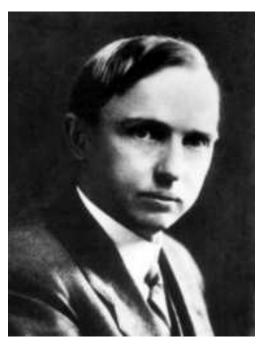




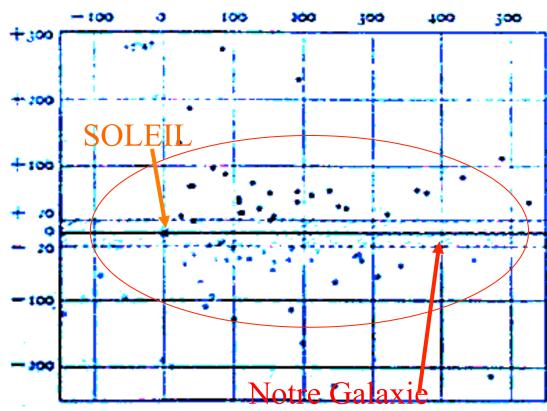
# Galaxie : William Herschel et la Voie Lactée



# Galaxie: Shapley et la taille de la Voie Lactée

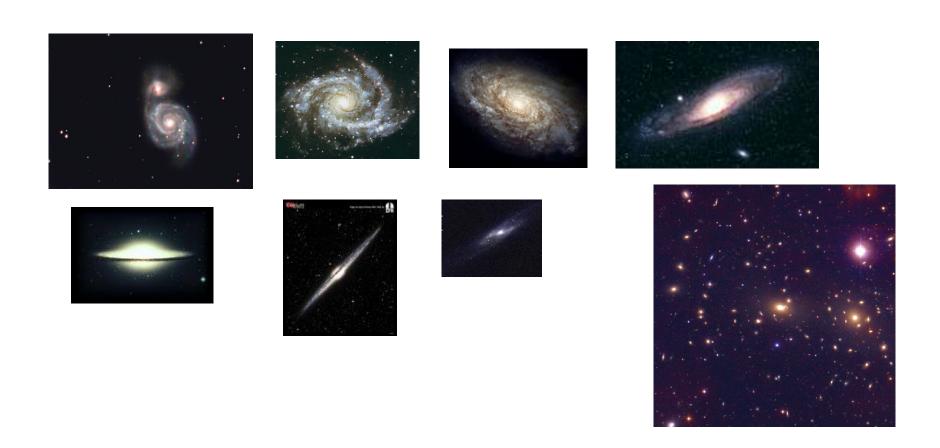


En 1918, H. Shapley montre que le Soleil n'est pas au centre de notre Galaxie



IL FALLAIT S'AFFRANCHIR D'UNE ABSORPTION LOCALE

## galaxies : notre Voie Lactée est une galaxie parmi d'autres.



# galaxies : Edwin HUBBLE mesure les distances de quelques galaxies





# galaxies : Edwin HUBBLE et les distances des galaxies

ApJ69,103 (1929)

A SPIRAL NEBULA AS A STELLAR SYSTEM, MESSIER 31<sup>1</sup>

Ry FOWIN HURRIE

ApJ67,103 (1926)

#### A SPIRAL NEBULA AS A STELLAR SYSTEM MESSIER 33<sup>1</sup>

By EDWIN HUBBLE

N.G.C. 6822, A REMOTE STELLAR SYSTEM $^{t}$ 

BY EDWIN HUBBLE

#### ABSTRACT

ApJ62,409 (1925)

A study of N.G.C. 6822.—The object is a very faint cluster of stars and nebulae, about 20'×10', resembling the Mageilanic Clouds. Detailed investigations confirm the similarity and show that it extends to many structural features of these systems. Familiar relations such as those connecting periods and luminosities of Cepheids, luminosities of brightest stars involved in diffuse nebulae, and frequencies of the most luminous stars in the systems are consistent when applied to N.G.C. 6822, the first object definitely assigned to a region outside the galactic system.

Variable stars.—Eleven of the fifteen variables found in the cluster are Cepheids. A system of photographic magnitudes has been established from comparisons with the two nearest Selected Areas; and periods, light-curves, and magnitudes have been determined for the Cepheids. The periods range from 12 to 04 days and the magnitudes at maximum, from 17.45 to 19.05. The period-luminosity relation is conspicuous, and a comparison with Shapley's general curve in Harrard Circular, No. 280, indicates a distance for N.G.C. 0822 of 214.000 parsecs. m-M=21.65.

Nebulae.—Five diffuse nebulae are involved in the cluster. The four brightest show emission spectra similar to those of the diffuse galactic nebulae. A radial velocity of +25 km/sec., uncorrected for solar motion, has been derived from one slit spectrogram of the brightest nebula. The mean diameter of the diffuse nebulae, about 40 parsecs, is comparable with those of the largest nebulae in other systems. In addition to the diffuse nebulae, several small objects are present which are probably non-galactic nebulae whose images are superposed on that of the cluster.

Star counts.—The distribution of apparent photographic magnitudes has been determined down to 10.4 corresponding to absolute magnitude.

wo naked-eye ting that it is r detailed in-

est resolvingthe so-called Moreover, the sults, similar

al, in addition with periods naxima, from probably an

lining branch 7.25 and 17.9,

stars involved

about 350 photonterval of about riter during the than the usable lered on (1) the og the nucleus.

### Expansion de l'univers : Einstein (1879-1955) et les théoriciens prédisent... THE ASTROPHYSICAL JOURNAL

AN INTERNATIONAL REVIEW OF SPECTROSCOPY AND ASTRONOMICAL PHYSICS



VOLUME LXIX

MAY 1929

#### ON THE ASTRONOMICAL IMPLICATIONS OF THE DE SITTER LINE ELEMENT FOR THE UNIVERSE

By RICHARD C. TOLMAN

#### ABSTRACT

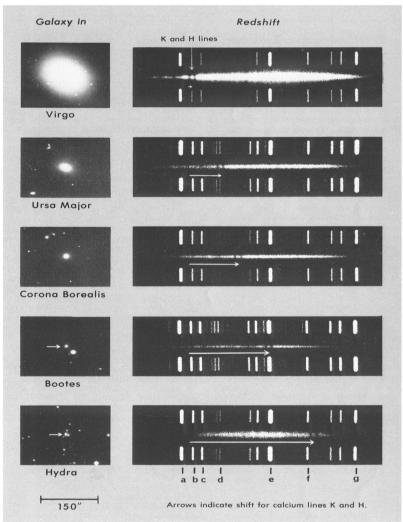
Part I. Nature of De Sitter universe.—Using the form of line element proposed by Eddington, exact expressions are obtained for the motion of particles and light-rays in the De Sitter universe, which include the shape of the orbit, the velocity of motion in the orbit, the acceleration in the orbit, and, for purely radial motion, the integrated equations of motion.

Part II. Relation to astronomical measurements.—The relation is discussed between the co-ordinate r and the determinations of radial distance that would result from direct measurement with meter sticks, from measurements of parallax, from those of the apparent luminosity of distant objects, and from those of the apparent extension of distant objects. A relation between the proper density of distribution of objects and coordinate density is obtained. Exact expressions are derived for the Doppler effect in terms of distances and velocities or in terms of distances and orbital parameters, both for the case that the observer is at the origin and for the case that the source is at the origin of co-ordinates. The Doppler effect at perihelion, and the range of distance and range of time during which an approaching source would produce the reversed positive. Doppler effect, are discussed. ENS-IFE 13 novembre 2012

## Expansion de l'univers : Vesto SLIPHER mesure les vitesses des

galaxies





## Expansion de l'univers : Edwin Hubble conclut...

$$V = c \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = H.d$$

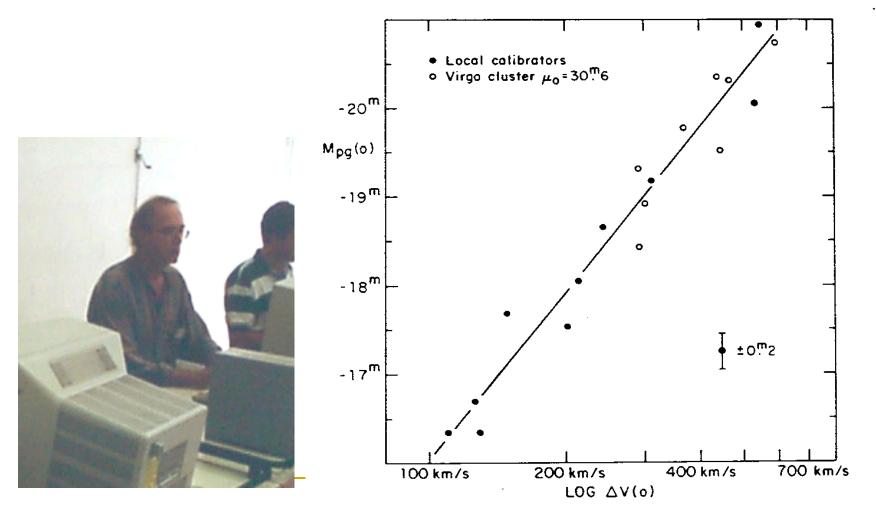
avec H = 500 (km/s)/Mpc!

## Expansion de l'univers : Le second débat

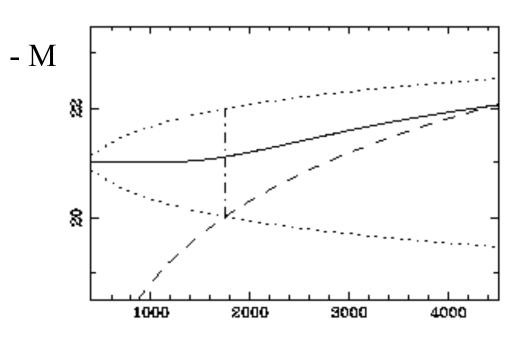
An Old way to derive the Hubble constant.



# Expansion de l'univers : L'article de Tully et Fisher



# Expansion de l'univers : Teerikorpi comprend le biais





Vitesse ou distance

IL FALLAIT EVITER LES BIAIS STATISTIQUES

## Conclusions : caractéristique du modèle

- Il doit expliquer toutes les observations connues et en prédire de nouvelles avec le minimum d'hypothèse
- Il doit si possible apporter une vision unitaire
- Le modèle du monde ne doit dépendre d'aucun système particulier (référentiel, environnement, un échantillon local)
- Il ne doit privilégier aucun observateur particulier

## Conclusions : caractéristique du modèle

- Plusieurs modèles peuvent cohabiter
- Un modèle peut se révéler faux
- Un modèle peut être non encore vérifié, voire invérifiable
- Il n'existe sans doute pas de modèle parfait, il n'y a que des modèles valables pour une précision donnée et une durée donnée